

# Unjuk Kerja *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) 3 Fasa Fluks Radial dari Modifikasi Motor Induksi

Heni Krisdiantoro

henikrisdiantoro@gmail.com  
Universitas Jember

Triwahju Hardianto

triwahju.teknik@unej.ac.id  
Universitas Jember

Widyono Hadi

widyono@unej.ac.id  
Universitas Jember

## Abstrak

Kebutuhan energi listrik di kalangan masyarakat Indonesia kian hari kian meningkat. Hampir seluruh kegiatan manusia pada zaman sekarang tak bisa lepas dari listrik. Selama ini sumber energi potensial dari pembangkit listrik masih menggunakan energi fosil untuk membangkitkan energi listrik. Sudah saatnya sekarang beralih menggunakan energi terbarukan seperti angin, air, gelombang laut dan lain-lain untuk mengganti sumber energi fosil. Pada industri kelistrikan saat ini generator sinkron magnet permanen sudah banyak dikembangkan. Komponen utama dari generator ini adalah rotor, stator dan penggerak utama. Generator sinkron magnet permanen ini menggunakan magnet permanen untuk menghasilkan medan magnet pada kumparan sehingga tidak memerlukan arus eksitasi. Tentu saja generator ini diharapkan bisa menghasilkan listrik yang maksimal dengan menggunakan sumber tenaga angin, air, gelombang laut dan lain-lain, sehingga krisis sumber daya listrik dengan energi fosil perlahan dapat teratasi. Generator yang dibuat pada penelitian ini menggunakan bahan baku seperti rotor, stator, shaft dan housing dari motor pompa air bekas yang sudah tidak terpakai. Modifikasi yang dilakukan yaitu dengan menambahkan magnet permanen pada rotor yang telah di bubut dan mengubah lilitan asli dari motor. Pengujian generator dilakukan dengan memberikan beban 40 Ohm dengan melakukan variasi kecepatan putar 200-1600 rpm. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan generator mampu menghasilkan daya paling rendah sebesar 0.7 Watt pada kecepatan 200 rpm dan daya paling tinggi sebesar 41.8 watt pada kecepatan 1600 rpm. Efisiensi terbaik pada pengujian terjadi saat menggunakan kecepatan 400 rpm dengan nilai efisiensi 75.78%

**Kata Kunci** — Generator sinkron magnet permanen, Variasi kecepatan putar, Daya

## Abstract

The need for electrical energy among the people of Indonesia is increasing day by day. Almost all human activities today cannot be separated from electricity. So far, potential energy sources from power plants still use fossil energy to generate electrical energy. It is time now to switch to using renewable energy such as wind, water, ocean waves and others to replace fossil energy sources. In the electricity industry, permanent magnet synchronous generators have been widely developed. The main components of this generator are the rotor, stator and prime mover. This permanent magnet synchronous generator uses a

permanent magnet to generate a magnetic field in the coil so it does not require an excitation current. Of course, this generator is expected to produce maximum electricity using wind, water, ocean waves and others, so that the crisis of electricity resources with fossil energy can slowly be resolved. The generators made in this study use raw materials such as rotors, stators, shafts and housings from used water pump motors that are no longer used. Modifications made are by adding permanent magnets to the lathe rotor and changing the original winding of the motor. Generator testing is done by providing a load of 40 ohms by varying the rotational speed of 200-1600 rpm. From the results of the tests that have been carried out, the generator is able to produce the lowest power of 0.7 watts at 200 rpm and the highest power of 41.8 watts at 1600 rpm. The best efficiency in the test occurred when using a speed of 400 rpm with an efficiency value of 75.78%.

**Keywords** — Permanent magnet synchronous generator, Variation of rotational speed, Power

## I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk di Indonesia yang semakin pesat mengakibatkan penggunaan energi listrik juga semakin meningkat. Listrik menjadi energi yang sangat dibutuhkan di masyarakat sekarang bahkan sudah menjadi kebutuhan primer. Selama ini sumber energi konvensional berupa energi fosil menjadi sumber utama untuk proses pembangkitan energi listrik. Beberapa persediaan sumber energi yang ada sudah berkurang dan akan menjadi kelangkaan[1]. Pemanfaatan energi baru terbarukan dapat menjadi solusi yang bisa digunakan untuk membantu memenuhi penyediaan energi listrik di masyarakat.

Namun mahalnya bahan-bahan untuk pembuatan sebuah generator masih menjadi kendala yang di alami oleh masyarakat saat ini sehingga masyarakat lebih memilih untuk menggunakan listrik konvensional dari PLN[3]. Untuk mengurangi biaya pembuatan generator yang begitu mahal, bisa memanfaatkan barang bekas seperti motor pompa air. Konstruksinya sangat mirip dengan generator pada umumnya sehingga jika dimodifikasi bisa di jadikan generator yang kuat dari segi konstruksi maupun materialnya.

II. LANDASAN TEORI

A. Generator sinkron magnet permanen

Permanent magnet synchronous generator (PMSG) adalah generator yang medan ekstitasinya dihasilkan oleh magnet permanen bukan kumparan sehingga fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnet permanent. Jenis generator ini adalah salah satu jenis generator yang memiliki tingkat efisiensi tinggi karena tidak ada rugi – rugi eksitasi yang dihasilkan sehingga cocok digunakan untuk sumber energi terbarukan seperti air, angin, gelombang laut dan lain-lain.

B. Prinsip kerja generator

Untuk menghasilkan output pada generator membutuhkan medan magnet untuk menghasilkan ggl induksi. Pada hukum faraday dijelaskan bahwa fluks magnet yang berubah-ubah memotong suatu kumparan, maka akan timbul ggl induksi pada kedua ujung kumparan tersebut [4]

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \tag{1}$$

Sedangkan hukum lenz menjelaskan bahwa ggl induksi akan menimbulkan fluks magnet induksi akan menentang fluks magnet utama yang menyebabkan ggl induksi tersebut[5]

C. Fluks magnet

Magnet memiliki arah fluks dari kutub utara ke kutub selatan dan ketika kutub yang sama didekatkan maka akan saling tolak menolak. Besarnya fluks magnet yang melalui suatu bidang dihitung sebagai berikut[2] dengan  $\phi$  yaitu Fluks Magnet (Wb),  $B_{max}$  Medan Magnet Maksimum (T), dan  $A_{magn}$  Luas Medan Magnet

$$\phi = B_{max} \cdot A_{magn} \tag{2}$$

Luas medan magnet yang akan timbul dalam generator adalah sebagai berikut dengan  $A_{magn}$  Luas Medan Magnet (m<sup>2</sup>),  $p_m$  Panjang Magnet (m),  $w_m$  Panjang Magnet (m),  $K_{ri}$  % Derah Kutub Termagnetisasi (%)

$$A_{magn} = (p_m \times w_m) 2 \times K_{ri} \% \tag{3}$$

Dalam pencarian fluks magnet dapat mendahulukan pencarian dimensi dari setiap bagian, terutama keliling motor dengan persamaan berikut dengan  $K_r$  Keliling Rotor (m),  $\phi$  (3,14) dan  $d_r$  Diameter Rotor (m).

$$K_r = \pi \times d_r \tag{4}$$

Dan untuk memperoleh nilai medan magnet maksimum maka bisa dilihat dari persamaan berikut ini [7] dengan  $B_{max}$

Medan Magnet Maksimal (T),  $B_r$  Medan Magnet Relatif (T),  $I_m$  Tinggi Magnet (m) dan  $\delta$  Panjang Celah Udara (m)

$$B_{max} = B_r \times I_m \frac{I_m}{l_{cu} \delta} \tag{5}$$

D. Daya

Setiap generator yang digunakan memiliki daya keluaran masing-masing tergantung dari dimensi serta aspek lainnya. Untuk persamaan daya listrik generator adalah sebagai berikut [5] dengan  $D$  Diameter dalam Stator (m),  $L$  Tebal Stator (m),  $P$  Daya (Watt),  $K_w$  Faktor Belitan,  $N_s$  Kecepatan Putar Rotor (RPS),  $B_g$  Kerapatan Medan Magnet pada Air Gap (T) dan  $A_c$  Kuat Medan Magnet (A/m).

$$D^2 L = \frac{P}{0,5 \pi^2 K_w N_s B_g A_c \cos \delta} \tag{6}$$

E. Tegangan

Tegangan merupakan beda potensial yang timbul akibat adanya medan magnet pada kumparan [6]. Nilai tegangan dapat di ketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut dengan  $E_{ph}$  Tegangan Induksi Antar Fasa (V),  $f$  Frekuensi (Hz),  $N_c$  Jumlah Lilitan per Kumparan,  $\phi$  Fluks Magnet (Wb),  $N_s$  Jumlah Slot dan  $N_{ph}$  Jumlah Fasa

$$E_{ph} = 2\pi \cdot f \cdot N_c \cdot \phi \frac{N_s}{N_{ph}} \tag{7}$$

F. Lilitan generator

Tegangan yang dihasilkan generator sangat berpengaruh dari banyaknya jumlah lilitan pada satu kumparan. Melilit sebuah generator harus ada perhitungan dan teknik melilit yang benar sehingga tegangan yang dihasilkan merupakan hasil yang paling tinggi. Untuk menentukan jumlah lilitan yang dibutuhkan maka bisa didapatkan dari persamaan berikut  $N_{ph}$  Jumlah Lilitan,  $E_{ph}$  Tegangan Antar Fasa (V),  $f$  Frekuensi (Hz),  $K_w$  Faktor Belitan dan  $\phi$  Fluks Magnet (Wb).

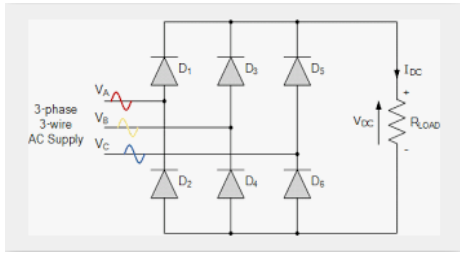
$$N_{ph} = \frac{E_{ph}}{4,44 \cdot f \cdot K_w \cdot \phi} \tag{8}$$

G. Penyearah 3 fasa

Penyearah tiga fasa tak terkontrol adalah suatu converter elektronika daya yang mengubah tegangan AC tiga fasa menjadi tegangan DC [8]. Penyearah tersebut membutuhkan 6 dioda yang disusun seperti Gambar 1. Rangkaian ini mempunyai sifat bahwa diode dengan nomor ganjil akan konduksi bila tegangan anodanya mempunyai harga yang paling tinggi dibandingkan dengan tegangan anoda dari komponen-komponen dengan nomor ganjil yang lain.

Tegangan keluaran dari penyearah tiga fasa dapat dicari dengan persamaan berikut[2] Dimana  $V_{rms}$  Tegangan rms Keluaran (V) dan  $V_m$  Tegangan Puncak Input (V)

$$V_{rms} = 1,6654 V_m \tag{9}$$



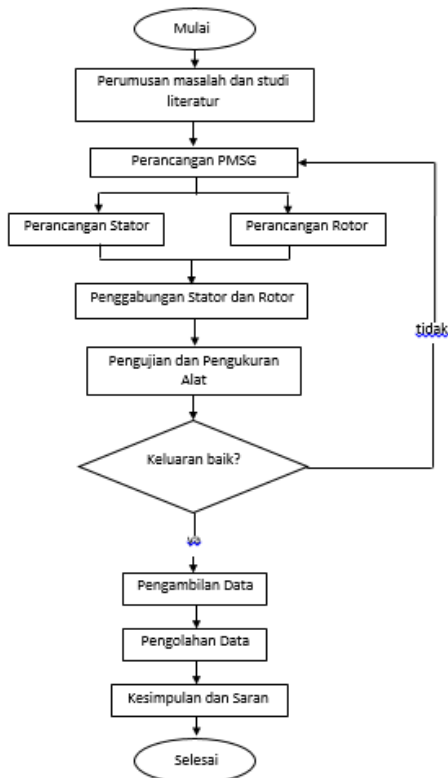
Gbr.1 Rangkaian penyearah 3 fasa

### III. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan sebuah penelitian, ada beberapa tahapan-tahapan yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan dan mendapatkan sebuah hasil penelitian yang baik dan dapat dipertanggung jawabkan.

#### H. Flowchar Penelitian

Berikut ini adalah tahapan-tahapan dalam penelitian yang dilakukan dalam bentuk diagram alir (Gambar 1), Gambar 2 merupakan diagram alir yang akan digunakan pada penelitian ini. Dimana ketika nilai arus yang didapatkan sudah sesuai dengan perhitungan maka penelitian akan dilanjutkan untuk pengambilan data.

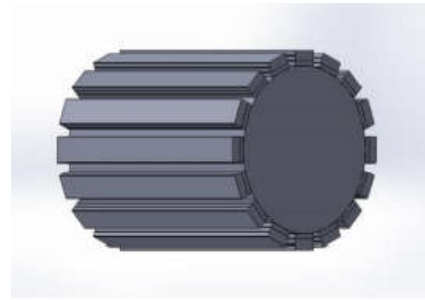


Gbr.2 Flowchart Penelitian

#### I. Desain Alat

Berikut merupakan desain perancangan dari PMSG fluks radial 3 fasa yang dibuat:

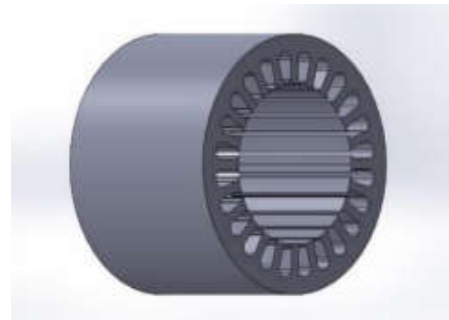
##### a. Desain Rotor



Gbr.3 Kontruksi Rotor (sumber: Angela, 2020)

Dari Gambar 3 dapat di lihat desain dan bentuk rotor yang akan digunakan. Bagian yang menonjol adalah magnet dengan dua lapisan.

##### b. Desain Stator



Gbr.4 Konstruksi stator (sumber: Angela, 2020)

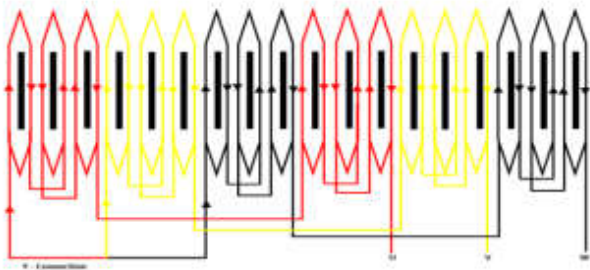
TABEL I  
SPESIFIKASI GENERATOR

No.	Karakteristik	Ukuran
1.	Diameter Rotor	51 mm
2.	Tebal Stator	32 mm
3.	Diameter Dalam Stator	53 mm
4.	Panjang Rotor	30 mm
5.	Jumlah lilitan	50 lilit
6.	Diameter lilitan	0.4 mm
7.	Dimensi magnet	40x10x3 mm
8.	Material Magnet	Neodymium N50
9.	Celah Udara	2 mm

Gambar.4 menunjukan desain stator yang akan digunakan. Jumlah slot yang digunakan yaitu sebanyak 24 slot dimana pada slot tersebut nantinya akan dipasang kumparan atau lilitan menggunakan kawat email dengan ukuran dan jumlah yang sudah ditentukan. Tabel 1 merupakan spesifikasi dari generator yang dibuat.

##### c. Lilitan

Banyak teknik pelilitan yang dipakai pada generator untuk memperoleh nilai tegangan yang sesuai dengan kebutuhan. Tegangan yang dihasilkan haruslah paling tinggi dan harus mendekati gelombang sinusoidal sempurna. Setiap slot pada stator harus terisi dengan kumparan agar tetap memenuhi syarat suatu mesin listrik. Slot bisa terisi dengan satu kumparan atau dua kumparan atau bahkan lebih.



Gbr.5 Lilitan Generator (Sumber: Angela, 2020)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Generator

Pengujian Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pengukuran nilai tahanan pada resistor kapur yang akan di gunakan sebagai beban.
2. Pengukuran nilai tegangan generator tanpa beban.
3. Pengukuran nilai tegangan dan arus saat berbeban.
4. Pengukuran nilai tegangan dan arus berbeban menggunakan variasi kecepatan putar pada generator 200 rpm, 400 rpm, 600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm, 1200 rpm,1400 rpm dan 1600 rpm.

Pengujian dilakukan menggunakan alat ukur yaitu multimeter digunakan untuk mengukur nilai arus dan tegangan yang di hasilkan, kemudian tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan putar rotor (rpm) dan yang terakhir adalah osciloscop untuk menampilkan bentuk sinyal sinus yang di hasilkan saat proses pengujian.

B. Perhitungan Generator

Daya generator dapat dihitung menggunakan persamaan (6), maka nilai yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$P = 0,053^2 \times 0,032 \times 0,5\pi^2 \times 0,945 \times 6,25 \times 1,4 \times 12000 \times 0,85$$

$$P = 38 \text{ watt}$$

Nilai daya yang dihasilkan sesuai dengan perhitungan adalah 38 watt. Dan menggunakan nilai tegangan yang telah di tentukan yaitu 36 V. Maka arus yang didapatkan pada perhitungan yaitu:

$$I = \frac{38}{\sqrt{3} \times 3 \times 36}$$

$$I = 0,21 \text{ A}$$

Berdasarkan nilai arus yang telah didapatkan maka ukuran kawat email yang paling aman digunakan yaitu menggunakan 0.4 mm.

setelah dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan yang ada didapatkan nilai fluks magnet maksimal sebesar 0,0004032 Wb sehingga dapat ditentukan jumlah lilitan sebagai berikut (8):

$$N_c = \frac{36}{4,44 \times 50 \times 0,0004032 \times \frac{24}{3}}$$

$$N_c = 50,27 \text{ lilitan}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka jumlah lilitan yang dibutuhkan generator adalah sebanyak 50 lilitan. Jumlah lilitan akan dibuat sesuai dengan jumlah slotnya yaitu 24 sehingga membutuhkan sebanyak 24 buah kumparan dengan masing-masing kumparan berjumlah 50 lilitan.

C. Pengujian Generator

Pengujian generator dilakukan pada saat *open circuit* dan saat berbeban 40 Ohm. Berikut ini adalah hasil pengujian generator:

1. Pengujian generator saat *open circuit*

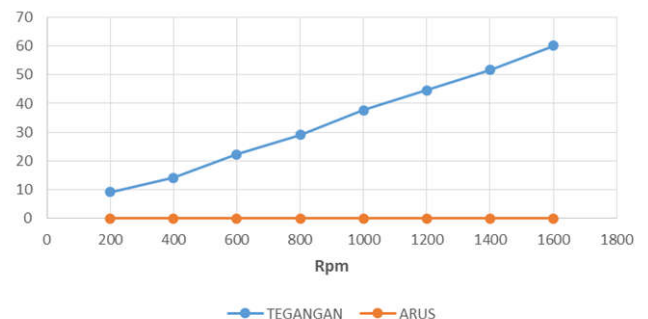
Pengujian dilakukan dengan prosedur yang telah dijelaskan sebelumnya dan menggunakan variasi kecepatan putar dari 200-1600 rpm.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian generator saat *open circuit* atau tanpa beban. Nilai tegangan paling rendah 9.2 V saat kecepatan putar 200 rpm dan tegangan tertinggi dihasilkan saat kecepatan 1600 rpm mencapai 60.01 V.

TABEL II  
DATA PERCOBAAN *OPEN CIRCUIT*

Rpm	Tegangan (V)	Arus (I)
200	9.2	0
375	13.9	0
400	14.25	0
600	22.3	0
800	29.12	0
1000	37.68	0
1200	44.57	0
1400	51.72	0
1600	60.01	0

Grafik Arus dan Tegangan tanpa Beban



Gbr. 6 Grafik hasil pengujian tanpa beban

Pada Gambar 6 dapat diketahui grafik nilai tegangan dan arus saat open circuit terhadap perubahan kecepatan putar rotor. Semakin tinggi nilai kecepatan putar generator maka nilai tegangan yang di hasilkan akan semakin meningkat.

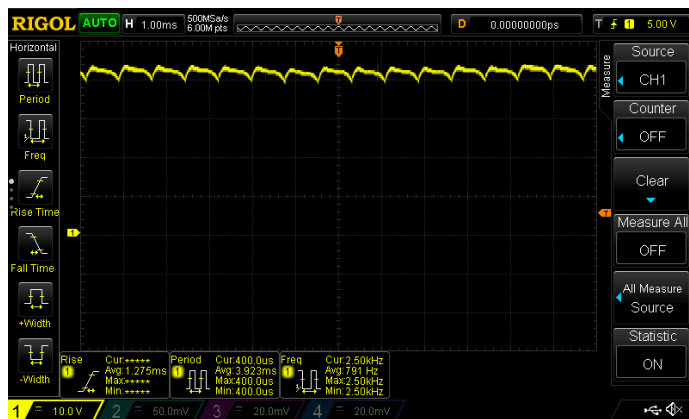
2. Pengujian generator saat berbeban

Pengujian dilakukan dengan menggunakan resistor kapur dengan nilai 40 ohm. Menggunakan kecepatan putar yang sama yaitu 200-1600 rpm.

Dari data yang telah didapatkan (Tabel 3) dapat diketahui bahwa nilai tegan dan arus yang terkecil nilainya terjadi pada saat kecepatan 200 rpm yaitu 6.4 V dan 0.11. Sedangkan nilai tegangn dan arus tertinggi terjadi saat kecepatan putar 1600 rpm dengan nilai tegangan 41.8 V dan arus 1 A.

TABEL III  
DATA PERCOBAAN BEBAN 40 OHM

Rpm	Tegangan (V)	Arus (I)
200	6.4	0.11
375	9.6	0.23
400	10.8	0.25
600	16.4	0.39
800	21.2	0.5
1000	27.3	0.6
1200	32.6	0.79
1400	36.6	0.89
1600	41.8	1



Gbr. 6 Sinyal keluaran tegangan DC saat kecepatan 1600 rpm.

D. Analisis Data

1. Daya Input

Dari data yang telah di dapatkan dari pengujian maka daya masukan dapat di hitung dimana tegangan yang di gunakan adalah tegangan yang di hasilkan tanpa beban dan arus yang di gunakan adalah saat menggunakan beban. Sesuai dengan persamaan berikut:

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot E_a \cdot I_L$$

TABEL IV  
NILAI DAYA INPUT

Rpm	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
200	9.2	0.11	1.75
375	13.9	0.23	5.54
400	14.25	0.25	6.17
600	22.3	0.39	15.06
800	29.12	0.5	25.22
1000	37.68	0.6	39.16
1200	44.57	0.79	60.99
1400	51.72	0.89	79.73
1600	60.01	1	103.94

Nilai daya terkecil terjadi saat kecepatan 200 Rpm yaitu sebesar 1.75 watt dan daya terbesar saat 1600 Rpm sebesar 103.94 watt.

2. Daya Output

Nilai daya output dapat dihitung dengan menggunakan dengan nilai tegangan dan arus dengan hasil pengukuran saat berbeban sebagai berikut:

$$P_{out} = \sqrt{3} V_T I_L$$

TABEL V  
NILAI DAYA OUTPUT

Rpm	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
200	6.4	0.11	1.22
375	9.6	0.23	3.82
400	10.8	0.25	4.68
600	16.4	0.39	11.08
800	21.2	0.5	18.36
1000	27.3	0.6	28.37
1200	32.6	0.79	44.61
1400	36.6	0.89	56.42
1600	41.8	1	72.40

Nilai daya terkecil terjadi saat kecepatan 200 Rpm yaitu sebesar 1.22 watt dan daya terbesar saat 1600 Rpm sebesar 72.40 watt[7].

3. Efisiensi

Efisiensi didapatkan dari hasil perbandingan antara daya input dengan daya output[2]. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

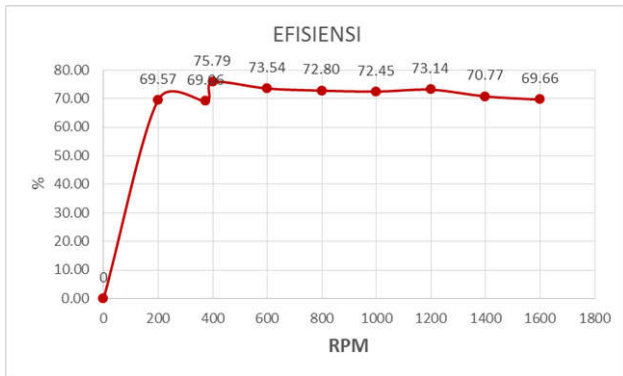
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Pada tabel 6. Dapat diketahui bahwa nilai efisiensi terbaik saat pengujian adalah pada saat kecepatan 400 rpm dengan nilai efisiensi sebesar 75.79 %.



TABEL VI  
NILAI PERHITUNGAN EFISIENSI

P IN	P OUT	Efisiensi
1.75	1.22	69.57
5.54	3.82	69.06
6.17	4.68	75.79
15.06	11.08	73.54
25.22	18.36	72.80
39.16	28.37	72.45
60.99	44.61	73.14
79.73	56.42	70.77
103.94	72.40	69.66



Gbr. 8 grafik nilai efisiensi generator

Dari Gambar 8 dapat kita ketahui bahwa nilai efisiensi yang di hasilkan generator cenderung stabil dan tidak terlalu mengalami perubahan yg begitu signifikan berdasarkan hasil pengujian.

V. KESIMPULAN (PENUTUP)

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat kita ketahui bahwa nilai kecepatan putar generator sangat berpengaruh pada daya yang di hasilkan, dimana semakin tinggi nilai kecepatan putar maka semakin besar pula daya yang di hasilkan. Generator ini mampu menghasilkan nilai daya output tertinggi pada saat pengujian yaitu sebesar 72.40 watt pada kecepatan putar 1600 rpm dan nilai daya terkecil sebesar 1.22 watt pada kecepatan 200 rpm. Efisiensi dari generator ini nilai tertinggi hingga 75.79 % pada saat kecepatan putar 400 rpm dan menggunakan beban resistor kapur 40 ohm.

REFERENSI

- [1] Andika and A. Hamzah, "Perancangan dan Pembuatan Generator Fluks Radial Tiga Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah," *Univ. Riau*, vol. 5, no.1, pp. 1-8, 2018.
- [2] R. A. Madani, Sutisna, dan A. Andang, "Modifikasi Motor Induksi Menjadi Generator Sinkron Magnet Permanen 24 Slot 8 Pole", Universitas Siliwangi.
- [3] H. Piggott, T. Kirby, and H Piggott, *Windpower Workshop Windpower Workshop Building Your Own Wind Turbine*. 1999.
- [4] W. Sunarlik, "Prinsip Kerja Generator," *PRINSIP KERJA Gener. Sink.*, p. 6, 2017.
- [5] I. Suhada, M.O & Yasri, "Aspek Rancangan Generator Magnet Permanen Fluks Radial Kecepatan Rendah," vol. 5, pp. 1-7, 2018.
- [6] C. Stephen J, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th ed. Australia, 1999.
- [7] A. Goeritno and A. Hidayat, "KONSTRUKSI ROTOR MAGNET PERMANEN FLUKS RADIAL UNTUK ALTERNATOR FASE TUNGGAL," pp. 1-7, 2015.
- [8] Soepranto, M. Shiddiq, U. Wibawa, and T. Utomo, "Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana ISSN: 2086-9479 Pengeraman Regeneratif Motor DC Tanpa Sikat (BLDC) Untuk Pengisian Baterai Pada Sepeda Elektrik Soeprapto Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Unggul Wibawa Fakultas Teknik Pr," vol. 9, no. 1, pp. 1-9, 2018.